

Materiales para láseres en guía de onda: $\text{LiNbO}_3\text{:Er/Nd}$

B. HERREROS¹, J.A. MUÑOZ¹, E. CANTELAR¹, P. L. PERNAS¹, G. LIFANTE¹,
F. CUSSÓ¹, P.D. TOWNSEND², P.J. CHANDLER², K. SCHÄFER³,
H. SUCHE³ Y W. SOHLER³

¹Dept. de Física de Materiales, C-IV, U. Autónoma de Madrid. 28049 Cantoblanco. Madrid, España

²Dept. of Physics and Astronomy, Univ. of Sussex. Brighton BN1 9QH, Reino Unido

³Angewandte Physik, Universität-GH Paderborn D-33098 Paderborn, Alemania

En este trabajo se presenta el estudio fotoluminiscente de guías de onda fabricadas mediante dos técnicas distintas, implantación iónica y difusión de Ti, sobre dos importantes materiales para aplicaciones láser, $\text{LiNbO}_3\text{:Er}^{3+}$ y $\text{LiNbO}_3\text{:Nd}^{3+}$. Las propiedades ópticas de los centros láser en las guías se comparan con las que presentan en el material en volumen, estudiándose también los efectos sobre éstas de los distintos métodos de preparación de guías empleados. Los resultados muestran como los dos métodos de fabricación preservan en gran medida las propiedades espectroscópicas de los iones ópticamente activos, aunque la distorsión introducida por la difusión de Ti parece ser algo más importante.

Palabras clave: Niobato de litio, erbio, neodimio, guías de onda, fotoluminiscencia

Waveguide laser materials: $\text{LiNbO}_3\text{:Er/Nd}$

This work presents the photoluminescence study of $\text{LiNbO}_3\text{:Er}^{3+}$ and $\text{LiNbO}_3\text{:Nd}^{3+}$ planar and channel waveguides fabricated by means of two different techniques, ion-implantation and Ti-in-diffusion. The optical properties of the laser centres in the waveguides are compared with those in the bulk. A comparison of the effects induced on such properties by the two preparation techniques is also presented. The results show that the spectroscopic properties of the laser ions are essentially preserved by the two fabrication methods, although the distortion produced by the Ti-in-diffusion seems to be more important.

Key words: Lithium niobate, erbium, neodymium, optical waveguides, photoluminescence

1. INTRODUCCIÓN

La combinación de los iones de tierras raras y el niobato de litio presenta numerosas ventajas en el campo de la óptica integrada debido a las excelentes propiedades no-lineales, electro-ópticas y acusto-ópticas de esta matriz cristalina y la multitud de transiciones ópticas susceptibles de oscilación láser que presentan los iones lantánidos, en especial la transición entorno a $1.55\ \mu\text{m}$ del ion Er^{3+} , coincidente con una de las ventanas ópticas de las telecomunicaciones.

En los últimos años, junto con esta combinación $\text{LiNbO}_3\text{:TR}^{3+}$ se ha incluido la configuración guiada para aumentar así tanto la eficacia de los procesos no-lineales como la eficiencia láser gracias a las mayores densidades de potencia. Esto ha sido posible gracias al desarrollo y perfeccionamiento de diversas técnicas de preparación de guías de onda en LiNbO_3 , tanto en su modalidad planar como acanalada, destacando entre ellas la difusión de Ti, el intercambio protónico y la implantación iónica. Como consecuencia de este rápido desarrollo se han demostrado diversos láseres en guía (1-2) utilizando estas técnicas de fabricación, siendo los iones Er^{3+} y Nd^{3+} los principalmente empleados.

Sin embargo, las diferentes técnicas de preparación de guías

pueden inducir cambios en la estructura de la matriz, por lo que, ante el gran interés que presentan estos materiales para láseres en guía de onda, se vuelve de gran importancia el estudio de la influencia que los distintos métodos de fabricación de guías puedan tener sobre las propiedades ópticas del ion activo para poder optimizar el funcionamiento de cualquier dispositivo láser.

En este trabajo se presenta el estudio mediante fotoluminiscencia de distintos tipos de guías de LiNbO_3 dopado con Nd o Er. Las propiedades ópticas de dichos iones en las guías se comparan con las que presentan en el material en volumen.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Los cristales de $\text{LiNbO}_3\text{:MgO:Nd}$ que se emplearon para este trabajo se crecieron en la Universidad Autónoma de Madrid por el método Czochralski a partir de los productos químicos comercializados por la firma Johnson-Mathey con grado I de pureza, utilizándose una concentración nominal de Nd de 0.2% mol referido al niobio e incluyéndose también un codopaje con óxido de magnesio en una concentración igual o mayor que el 5% para inhibir así el daño fotorrefractivo. Se

prepararon guías planas sobre substratos procedentes de estos cristales mediante implantación de iones He^+ a una energía de 2 MeV en el acelerador Van de Graaff de la Universidad de Sussex. A partir de la energía del haz de iones de He^+ usado para la implantación, se puede estimar que la profundidad de las guías formadas es del orden de 4 μm . A continuación, se procedió a recocer los substratos a 250°C durante 30 min en aire para eliminar los centros de color generados por la implantación. En el caso de los cristales de LiNbO_3 dopados con Er, parte de ellos se crecieron también en la Universidad Autónoma mediante la misma técnica, dopándose con concentraciones nominales de Er entre 0.2 y 1 % mol (referido al niobio), para preparar después guías planas de modo análogo al anteriormente descrito. Los substratos de $\text{LiNbO}_3\text{:Er}$ que se emplearon en la fabricación de guías acanaladas por difusión de Ti se obtuvieron a partir de cristales de LiNbO_3 puro comercializados por Crystal Technology que se doparon en su región superficial mediante difusión de Er. Para ello se evaporó sobre su superficie una capa de Er de un espesor de ~ 200 Å para, a continuación, llevar a cabo la difusión a 1130°C durante 150 horas. A partir de los valores de los coeficientes de difusión del Er en LiNbO_3 publicados por Buchal y colaboradores (3), se puede estimar una profundidad (1/e) de 6.5 μm y una concentración superficial de ~ 0.7 % mol para el perfil gaussiano resultante. A continuación se usaron técnicas de fotolitografía para definir sobre estos substratos canales (5, 6, 7 y 8 μm de anchura) de Ti que seguidamente se difundieron a 1060°C durante 9 horas, estimándose una profundidad de 4 μm para las guías.

El estudio fotoluminiscente de los iones en la guía se llevó a cabo a alta y baja temperatura bajo excitación de láseres de Ar^+ y Ti:zafiro con el sistema experimental cuya descripción puede encontrarse en la literatura (4).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 1 muestra el espectro de emisión a baja temperatura (4 K), bajo excitación con Ti:zafiro, correspondiente a las transiciones láser de los iones Nd^{3+} (parte superior) y Er^{3+} (parte inferior) en LiNbO_3 . En ella se muestra la comparación de dichos espectros, normalizados al área, entre guías planas implantadas (línea punteada) y el correspondiente material en volumen (línea continua).

La emisión láser ~ 1.084 μm del ion Nd^{3+} en LiNbO_3 corresponde a la transición $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$ del mismo. En la Figura 1 (parte superior) se observa como el número de bandas que aparecen para dicha transición, así como su posición, coinciden en el espectro del material en volumen y de la guía, habiendo sólo pequeños cambios de intensidades relativas y un ligerísimo ensanchamiento. El mismo tipo de comportamiento se encuentra en la Figura 1 (parte inferior) al comparar el espectro del material en volumen y de la guía correspondiente a la transición $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ del ion Er^{3+} en LiNbO_3 . En cuanto a los tiempos de vida obtenidos para las guías implantadas de $\text{LiNbO}_3\text{:MgO:Nd}^{3+}$, éstos son muy similares a los observados en el material en volumen, con sólo una ligera reducción ($\sim 10\%$).

En la Figura 2 se presenta el espectro de emisión a baja temperatura, bajo excitación con láser de Ar^+ , correspondiente a la transición $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ del ion Er^{3+} en LiNbO_3 que aparece entorno a 550 nm. Se escogió esta emisión por tratarse de una emisión muy intensa donde la resolución a efectos com-

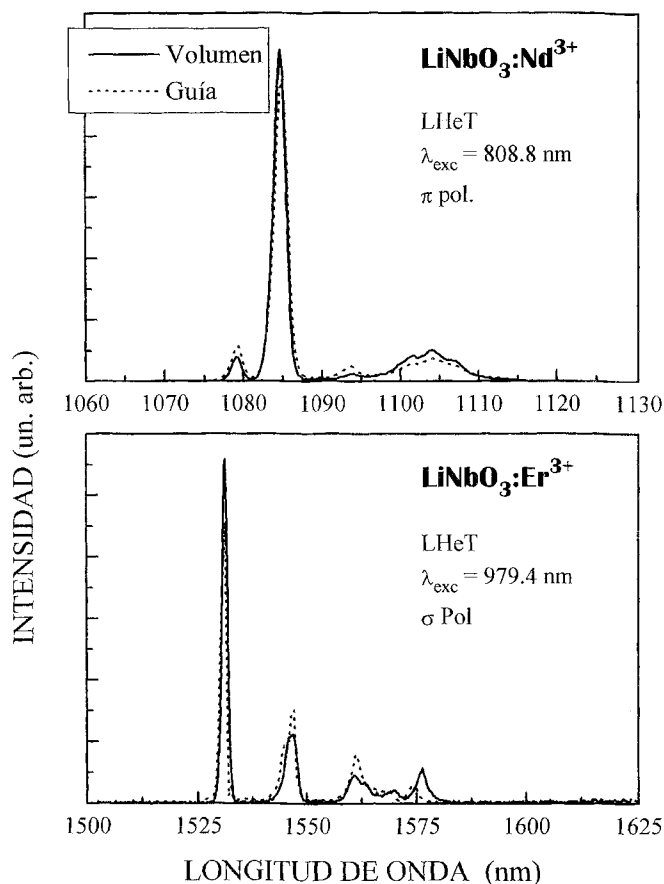


Fig. 1. Espectros de emisión a baja temperatura, bajo excitación infrarroja, correspondientes a las transiciones $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$ del ion Nd^{3+} (parte superior) y $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ del ion Er^{3+} (parte inferior) en LiNbO_3 . Se comparan los espectros del material en volumen (línea continua) y de guías implantadas (línea punteada).

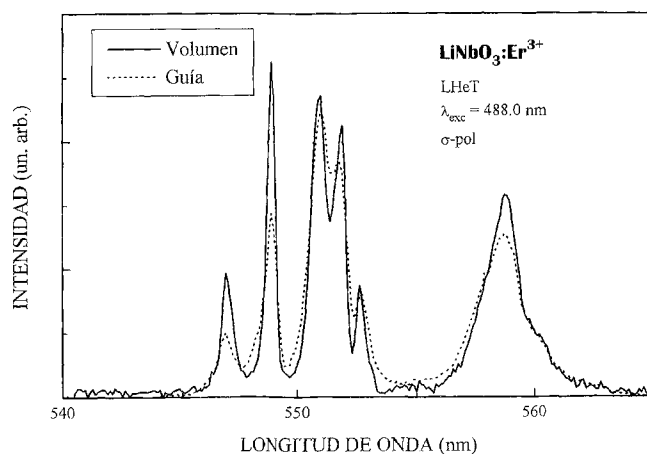


Fig. 2. Espectro de emisión a baja temperatura, bajo excitación con láser de Ar^+ , correspondiente a la transición $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ del ion Er^{3+} en LiNbO_3 . Se comparan los espectros del material en volumen (línea continua) y de guías difundidas con Ti (línea punteada).

parativos guía/volumen es óptima. Por otra parte, dicha emisión presenta un posible interés láser en esquemas "up-conversion". En este caso la comparación se hace entre guías de difusión de Ti (línea punteada) y material en volumen (línea continua). Puede observarse nuevamente la coincidencia entre

posiciones y número de bandas, aunque ahora el ensanchamiento de las bandas en el espectro de la guía es mucho más evidente.

El hecho de que en los dos tipos de guías estudiadas la posición y número de bandas coincida con las de los espectros del material en volumen indica que el entorno cristalino del ion en la matriz no se ha visto muy alterado por el proceso de preparación de la guía, lo cual es altamente ventajoso desde el punto de vista tecnológico ya que es una clara indicación de que las propiedades espectroscópicas de los iones Er^{3+} y Nd^{3+} en LiNbO_3 no se ven apenas afectadas por estos procesos de preparación de guías.

Por otro lado, el ensanchamiento en las bandas resulta de una pequeña pérdida de calidad cristalina en las guías detectada también mediante espectrometría de retrodispersión Rutherford combinada con canalización iónica (5). La observación experimental de que este ensanchamiento es mayor en el caso de las guías difundidas con Ti que en el caso de las guías implantadas parece bastante razonable si se tiene en cuenta las características de estos dos métodos de fabricación. En las guías de implantación iónica la región de la guía corresponde a la zona que queda confinada entre el aire y la región de daño nuclear, es decir la zona de daño electrónico que apenas es dañada por la implantación que tan sólo genera la aparición de centros de color que pueden hacerse desaparecer mediante un tratamiento térmico posterior a temperaturas del orden de 250°C . Sin embargo, en el caso de la difusión de Ti la guía corresponde a la zona que se ha modificado mediante la intro-

ducción del Ti en la red, esperándose en este caso una distorsión mayor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación parcial de este trabajo a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT, Proyecto TIC95-0166) y a la Comunidad Económica Europea (HCM, Proyecto ERBCHRX-CT93-0211). ♦

BIBLIOGRAFIA

1. S.J. Field, D.C. Hanna, D.P. Shepherd, A.C. Tropper, P.J. Chandler, P.D. Townsend, and L. Zhang. «Ion-Implanted Nd:MgO:LiNbO₃ Planar Waveguide Laser». *Opt. Lett.* **16** [7] 481-483 (1991).
2. H. Suche, R. Wessel, S. Westenhöfer, W. Sohler, S. Bosso, C. Carmannini, and R. Corsini. «Harmonically Mode-Locked Ti:Er:LiNbO₃ Waveguide Laser». *Opt. Lett.* **20** [6] 596-598 (1995).
3. CH. Buchal, and S. Mohr. «Ion-Implantation, Diffusion and Solubility of Nd and Er in LiNbO₃». *J. Mat. Res.* **6** [1] 134-137 (1991).
4. B. Herreros, G. Lifante, F. Cussó, P.D. Townsend, and P.J. Chandler. «Luminescence Spectroscopy of Nd³⁺ in Ion-Implanted LiNbO₃:Nd:MgO Planar Waveguides». *J. Phys. D: Appl. Phys.* **28** 1687-1697 (1995).
5. B. Herreros, G. Lifante, F. Cussó, A. Kling, J.C. Soares, M.F. da Silva, P.D. Townsend, and P.J. Chandler. «Structural and Optical Properties of Rare-Earth Doped Lithium Niobate Waveguides Formed by MeV Helium Implantation». *Proceedings of Symposium A of the Fall 1995 MRS Meeting*, vol. 396.

